



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

KOSTEUSMITTARIN KÄYTTÖÖNOTTO

Case: Stora Enso Packaging Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Tuotantopainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kimmo Laine

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

LAINE, KIMMO:

Kosteusmittarin käyttöönotto
Case: Stora Enso Packaging Oy

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 25 sivua, 10 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee kosteusmittarin käyttöönottoa Stora Enso Packaging Heinolan-tehtaalla. Työn tavoitteena oli käyttää kosteusmittari, jonka avulla pystyttäisiin vaikuttamaan laadukkaan aaltopahvin valmistukseen heti valmistusprosessin alkuvaiheessa. Opinnäytetyön tutkimusosuuden pohjatietona on käytetty Stora Enso Packaging:in Heinolan tehtaan asiakasreklamaatioita, Heinolan tehtaalta tutkittuja kartonkinäytteitä sekä yrityksen käytössä olevia omia laskentaohjelmia.

Aaltopahvin käyryys heikentää olennaisesti aaltopahvipakkauksen toimivuutta esimerkiksi asiakkaan konepakkaukslinjalla. Käyristymisen tutkiminen on tärkeää, kun halutaan tuottaa laadukasta pakkausmateriaalia asiakkaiden käyttöön.

Opinnäytetyö toteutettiin keräämällä pintakartonkinäytteitä kuukauden ajan, ja niitä analysoitiin kuukauden ajan laboratoriossa. Näytteitä kerättiin yhteensä seitsemänkymmentä kappaletta, neljästätoista eri kartonkilaadusta. Näiden näytteiden kosteusarvojen mittaamiseen käytettiin kannettavaa Visilab Ak30 -kosteusmittaria. Ennen mittarin käyttöönottoa sille suoritettiin kalibrointi. Kalibroinnin jälkeen näytteistä mitattiin niiden kosteusarvot, joita verrattiin uunikuivauksella saatuihin laskennallisiin arvoihin. Laskettuja ja mitattuja kosteusarvoja vertailtiin Stora Enso Oyj:n käytössä olevan Minitab-ohjelman avulla, jolla saatiin luotettavuusanalyysi, joka kertoi mittarin kalibroinnin onnistumisesta. Ohjelma osoitti, että näytteitä oli riittävästi ja ne oli mitattu luotettavasti. Ohjelmalla saadut tulokset lisäsivät tutkimuksen luotettavuutta ja onnistumista.

Asiasanat: aaltopahvi, asiakasreklamaatiot, kosteusarvo, käyristyminen

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

LAINE, KIMMO:

Introduction of moisture meter
Case: Stora Enso Packaging

Bachelor's Thesis Production Oriented Mechatronics, 25 pages, 10 pages of
appendices
Spring 2014

ABSTRACT

This thesis deals with the introduction of moisture meter of Stora Enso Packaging Heinola Factory. The purpose of the assignment was to introduce the moisture meter, which could help to make quality corrugated fiberboards at the early stage of manufacturing process. The basic information was the factory's customer complaints, corrugated fiberboards examined in the Heinola factory and the company's own calculation programmes.

Curvature of corrugated fiberboard deteriorates its functionality considerably for example on the client's machine packaging line. Therefore it is important to examine the causes of the curvature when you want to produce high-quality packaging for clients' use.

The thesis was carried out by collecting linerboard samples from linerboard rolls, which then were analyzed in the factory's own laboratory. Altogether seventy samples were collected from fourteen different linerboard qualities. The moisture values of the samples were measured by portable moisture meter called Visilab Ak30. The meter was calibrated before use. Then they were compared to the calculated values of the oven dried samples. The calculated and measured values were compared using Stora Enso's Minitab program. The minitab program showed that the meter was calibrated successfully and the analysis was reliable. The program indicated the adequacy and the samples and the reliability of the analysis, which increased the reliabilities and success of this research.

Keywords: corrugated fiberboard, customer complaints, moisture value, curvature of corrugated fiberboard

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYSESITTELY	2
2.1	Stora Enso Oyj	2
2.2	Stora Enso Packaging Oy	2
2.3	Heinolan- ja Lahden-tehtaat	2
3	AALTOPAHVI	4
3.1	Yleistä aaltopahvista	4
3.2	Aaltopahvityypit ja niiden ominaisuudet	5
4	AALTOPAHVIKONE	7
4.1	Pääkomponentit	7
4.2	Aaltopahvin valmistusprosessi	8
5	AALTOPAHVIN KÄYRYYS	11
5.1	Käyryydestä aiheutuvat ongelmat	11
5.2	Käyryyden mittaus ja määrittely	11
5.3	Aaltopahvin käyristymistavat	12
5.4	Jälkikäyristyminen	12
5.5	Kosteus	13
6	KARTONGIN KOSTEUDEN MITTAUS	14
6.1	Yleistä	14
6.2	Kosteuden mittausmenetelmiä	14
7	YHTEENVETO	15
	LÄHTEET	17
	LIITTEET	18

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enso Packaging Heinolan-tehtaalle osana kehittämisprojektia, jonka tarkoituksena on saada käyryydestä johtuvat reklamaatiot vähenemään Heinolan- ja Lahden-tehtailla. Työn tavoitteena oli käyttöönottaa Visilab ak30 -kosteusmittari ja suorittaa sille luotettava kalibrointi, jotta jo aaltopahvin valmistusprosessissa pystyttäisiin, varsinkin ongelmareseptien kohdalla, vertailemaan kartonkirullien kosteusarvoja rullientoimittajien lupaamiin arvoihin ja näin välttämään käyrän aaltopahvin valmistuksen.

Aiheen työlleni sain Stora Enso Packagingin kehitysinsinööriltä, joka oli mukana tutkimassa aaltopahvin käyryyttä. Aihe oli ajankohtainen lisääntyneiden reklamaatioiden takia. Asiakasreklamaatioilla on suora yhteys asiakastyytyväisyyteen ja samalla ne aiheuttavat suuria kustannuksia vuosittain. Pahimmissa tapauksissa yritys voi menettää jopa asiakkaan huonolaatuisen aaltopahvin takia. Pitkä työhistoria aaltopahvin valmistuksessa antoi hyvän pohjan työlle. Teoriaosuudessa perehdytäänkin tarkemmin aaltopahvin käyristymiseen ja yleisesti aaltopahvin valmistusprosessiin.

Työn suoritettiin Heinolan-tehtaalla. Työhön tarvittavat näytteet otettiin Stora Ensolle toimitetuista kartonkirullista ja analysoitiin tehtaalla sijaitsevassa laboratoriossa. Näytteitä kerättiin 14:stä eri kartonkirullasta yhteensä 70 kappaletta. Eniten tuotannossa käytettävät kartonkirullat valittiin näytteiksi. Lopuksi kalibroinnista saadut tulokset analysoitiin Minitab-ohjelmalla.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Stora Enso Oyj

Stora Enso Oyj on yksi suurimmista metsäteollisuusyrityksistä maailmalla. Se syntyi ruotsalaisen Stora AB:n ja suomalaisen Enso Oyj:n yhdistyessä vuonna 1998. Se tuottaa paperi-, biomateriaali-, pakkaus- ja puuteollisuustuotteita, ja sen palveluksessa on noin 28 000 henkilöä yli 35:ssä eri maassa. Liikevaihto vuonna 2013 oli 10,5 miljardia euroa. Vuositasolla Stora Enso tuottaa noin 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliötä aaltopahvia sekä 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, joista noin puolet on jatkojalosteita. Yrityksen osakkeet noteerataan sekä Helsingin että Tukholman arvopaperipörsseissä. (Stora Enso 2013.)

2.2 Stora Enso Packaging Oy

Stora Enso Packaging Oy on osa Stora Enso -konsernia, jonka liiketoiminta-alueena ovat aaltopahvipakkaukset. Sen tuotevalikoimaan kuuluvat kuluttajapakkaukset, kuljetuspakkaukset, ryhmä- ja hyllyvalmiit pakkaukset, yksipuolinen aaltopahvi, heavy duty -kontit, aaltopahviarkit, pakkauskoneet ja -järjestelmät ja näiden lisäksi palvelut, jotka vastaavat asiakkaiden vaatimuksia liittyen tuotteen pakkaukseen, kuljettamiseen, suojaamiseen ja myynnin edistämiseen. Näin ollen se onkin täyden palvelun aaltopahvipakkausten toimittaja. Vuonna 2011 Stora Enso Packagingin liikevaihto oli noin 535 miljoonaa euroa ja tuotanto noin 970 miljoonaa neliötä. Stora Enso Packaging työllistää yli 2 800 henkilöä ja sillä on 21 tehdasta, jotka sijaitsevat ympäri Pohjois-Eurooppaa. Suomessa yksiköt sijaitsevat Heinolassa, Lahdessa, Ruovedellä sekä Kristiinankaupungissa. (Stora Enso Packaging 2013, 7,10.)

2.3 Heinolan- ja Lahden-tehtaat

Heinolan ja Lahden tehtaat kuuluvat osaksi Stora Enso Packaging Suomen-yksikköä, yhdessä Ruoveden ja Kristiinankaupungin tehtaiden kanssa. Molemmilla tehtailla valmistetaan stanssattuja, monivärisiä fleksopainettuja

aaltopahvipakkauksia sekä kuljetuslaatikoita. Lahdessa pääpaino on tasostanssauksessa ja Heinolassa rotaatiostanssauksessa. (Stora Enso Packaging 2013, 10.)

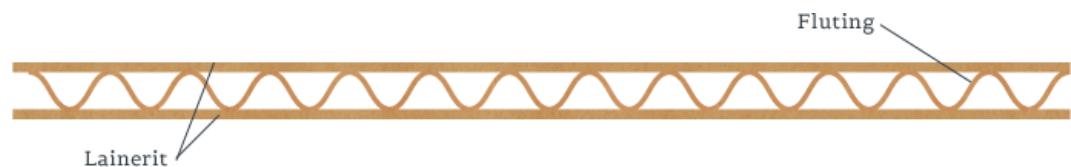
Lahden-tehtaalla toiminta alkoi vuonna 1887, kun Tornator perusti lankarullatehtaan. Vuonna 1930 lankarullatehtaan tilalle tuli Enso-Gutzeitin puusepäntehtas ja paperijalostamo. 33 vuotta myöhemmin, vuonna 1963 Enso-Gutzeitin siirsi aaltopahvin tuotannon Helsingistä Lahteen. Siitä lähtien Lahdessa on valmistettu aaltopahvipakkauksia. Puusepäntehtas lopetettiin vuonna 1983, ja liiketoiminta painottuikin aaltopahvin tuotantoon. Heinolassa vastaavasti aaltopahvin valmistus alkoi vuonna 1960, silloisen Oy Tampella Ab:n toimesta. Vuonna 1985 siellä aloitti oma arkkijalostamo toimintansa. (Stora Enso Packaging 2013, 10.)

Kokonaisuudessaan Suomen-yksikön tehtailla on noin 2 000 asiakasta sekä yli 50 000 toimitusta vuodessa. Tuotevalikoimaan kuuluu noin 15 000 yksilöllistä tuotetta, joista noin joka kolmas uusiutuu vuosittain. Suurimmat asiakkaat tulevat elintarvikealalta, kuten Valiolta, Arla Ingmanilta ja Pandalta. (Stora Enso Packaging 2013, 12–13.)

3 AALTOPAHVI

3.1 Yleistä aaltopahvista

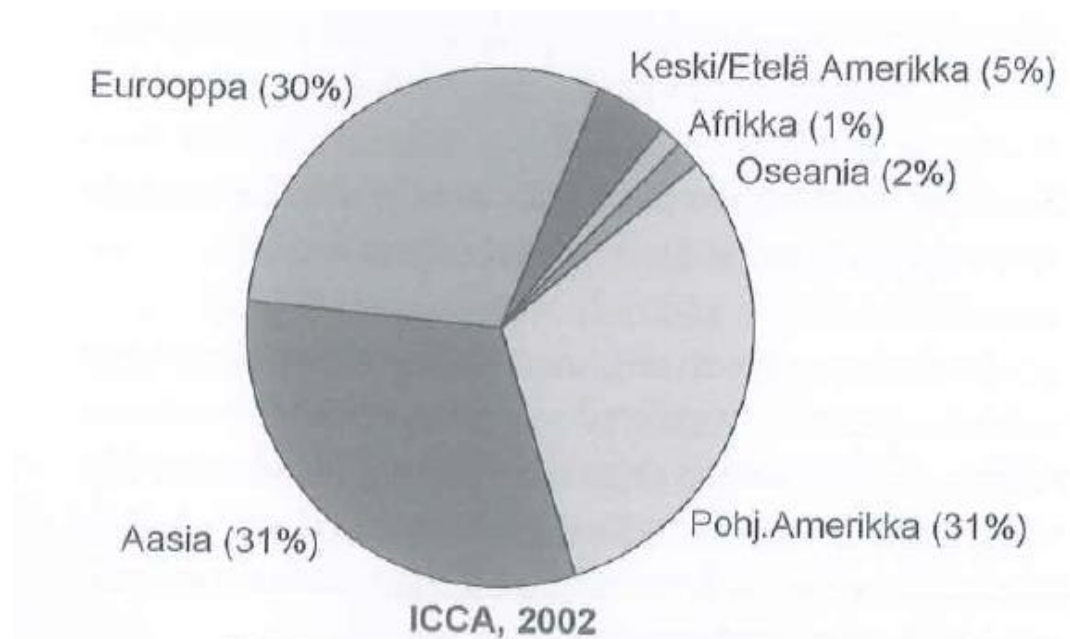
Aaltopahvi koostuu kahdesta tai useammasta pintakartongista eli niin sanotuista lainereista, sekä näiden väliin liimatusta, yhdestä tai useammasta aaltomaiseksi taivutetusta aallotuskartongista eli flutingista (ks. KUVIO 1). Täten muodostuu jäykkä, luja ja paksuuteensa nähden kevyt rakenne, jolla on myös hyvät suojausominaisuudet. Aaltopahvissa käytettyjen raaka-aineiden ansiosta se on helppo kierrättää ja ympäristöystävällinen. (Laakso & Rintamäki 2003, 13.)



KUVIO 1. Aaltopahvin rakenne (Suomen Aaltopahviihdistys ry 2013 a)

Vuonna 1871 A. L. Jones keksi aallotetun paperin pakkauskäyttöön. Sen tarkoitus oli suojata hauraita tuotteita, kuten pulloja, joissa sitä käytettiin välipehmikkeenä ja kääreenä. Kolme vuotta myöhemmin keksittiin liimata aallotettu paperi suoraan paperiin. Keksittiin siis tuote, jota kutsutaan edelleenkin yksipuoliseksi aaltopahviksi. Aaltopahvilaatikoiden valmistus alkoi 20 vuotta myöhemmin Yhdysvalloissa vuonna 1894. Vuosisatojen vaihteessa aaltopahvin valmistus levisi myös Eurooppaan. Valmistus keskittyi Englantiin, Saksaan, Ranskaan ja Italiaan, mutta levisi nopeasti myös muihinkin Euroopan maihin. Suomessa aaltopahvin valmistus alkoi vuonna 1911. Kuitenkin vasta 1. maailmansodan jälkeen aaltopahvin valmistus ja jalostus kehittyi huomattavasti. (Laakso & Rintamäki 2003, 13.)

Tänä päivänä aaltopahvintuotanto keskittyykin lähes kokonaan Eurooppaan, Pohjois-Amerikkaan ja Aasiaan. Näiden kolmen maanosan osuudet maailman aaltopahvin tuotannosta ovat yli 90 %. (ks. KUVIO 2.) Aaltopahvin kokonaiskäyttö on vuositasolla noin 60 miljoonaa tonnia, minkä takia se on maailman eniten käytetty pakkausmateriaali. (Laakso & Rintamäki 2003, 17.)



KUVIO 2. Aaltopahvin tuotanto maanosittain (Laakso & Rintamäki 2003, 20)

3.2 Aaltopahvityypit ja niiden ominaisuudet

Aaltopahvi siis koostuu kahdesta tai useammasta pintakartongista ja yhdestä tai useammasta aallotuskartongista, jotka on liimattu toisiinsa kiinni aallonharjojen kohdalta. Aaltoprofiileja on useita, ja niitä voidaan myös yhdistää toisiinsa päällekkäin. Aaltopahvin perustyypppejä on neljä:

- yksipuolinen aaltopahvi
- kaksipuolinen yksiaaltoinen aaltopahvi
- kaksipuolinen kaksiaaltoinen aaltopahvi
- kaksipuolinen kolmiaaltoinen aaltopahvi.

Aaltopahvi on keveyteensä nähden lujaa ja kestävä, minkä ansiosta sitä pystytään käyttämään useaan eri käyttötarkoitukseen. Sillä on hyvät suojaamisominaisuudet, minkä ansiosta se soveltuu hyvin myös herkille tuotteille, sillä aaltokerros toimii hyvänä iskunvaimentimena. Nykyään aaltopahvi on myös erittäin hygieenistä, minkä ansiosta se on erittäin suosittu elintarvikealalla. Sitä on helppo käsitellä, sillä se kestää useita kertoja avaamisen ja sulkemisen, tapahtui työ sitten käsin tai automaattisella pakkauslinjastolla. Myös useilla painatusmenetelmillä pystytään painamaan erilaisia kuvia ja tekstejä pahviin, jolloin saadaan aikaan yksilöllinen ja tyylikäs tuote. (Laakso & Rintamäki 2003, 14–17; Suomen Aaltopahviyhdistys ry 2013 b)

Aaltopahvin ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan, mistä raaka-aineista se on valmistettu. Esimerkiksi lujuutta ja paksuutta voidaan muuttaa vaihtamalla aallon korkeutta, käyttämällä eri paksuisia kartonkeja tai lisäämällä aaltokerroksia päällekkäin. (Laakso & Rintamäki 2003, 15.) Seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 1) on esitelty eri aallonkorkeudet.

TAULUKKO 1. Aallonkorkeudet (Laakso & Rintamäki 2003, 15)

Aallon nimi	Aallon korkeus
G&N-aalto	noin 0,5 mm
F-aalto	noin 0,7 mm
E-aalto	noin 1,2 mm
B-aalto	noin 2,6 mm
C-aalto	noin 3,8 mm
A-aalto	noin 5,0 mm
BC-aalto	noin 6,4 mm
CC-aalto	noin 7,6 mm

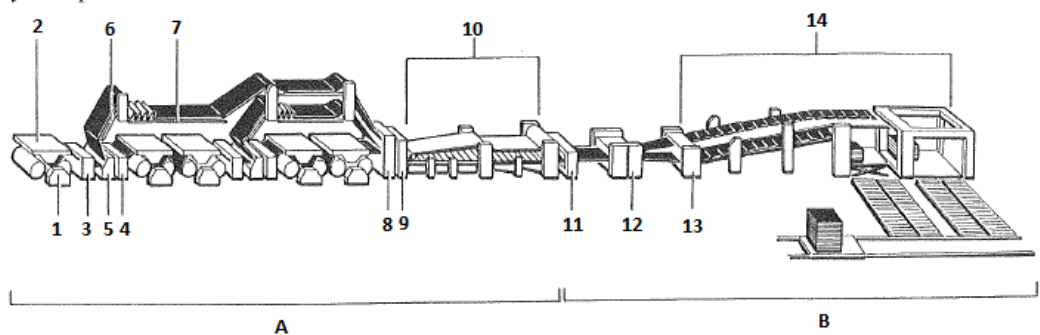
4 AALTOPAHVIKONE

Aaltopahvikone valmistaa kartonkirullista ja liimasta aaltopahviarkkeja. Vuosien saatossa se on kehittynyt niin koon, nopeuden kuin automaation osalta, vaikka perusrakenne ei ole muuttunut. Pituutta nykypäivän aaltopahvikoneella on yli 100 m ja sillä pystytään saavuttamaan yli 300 m/min valmistusnopeus. Yleisesti valtaosa aaltopahvikoneista on edelleen 2,5 m leveitä, mutta leveämmät, esimerkiksi 2,8 m leveät koneet, ovat alkaneet yleistymään. (Laakso & Rintamäki 2003, 33–34.)

4.1 Pääkomponentit

Aaltopahvikone on iso tuotantolinja, jolla on kolme keskeistä päävaihetta: aallotuskartongin aallotus ja sen yhdistäminen pintapapereihin, jotka tapahtuvat märässä päässä, sekä kuivassa päässä tapahtuva arkin leikkaus oikeaan kokoon. (Fetco 2013)

Yleisesti märkää koostuu arinasta, sillasta, liimausyksiköstä ja yhdestä tai useammasta aallottajasta ja näiden läheisyydessä sijaitsevista esilämmittimistä, rullapukeista sekä rullanvaihtajista. Aallottajalla on lisäksi myös oma ylösvetokuljetin. Kuivapää taas koostuu tilauksenvaihtoleikkurista, pituus- ja poikkileikkurista sekä vastaanottolaitteesta. Kuviossa 3 on esitelty aaltopahvikone kokonaisuudessaan. Vaikka aaltopahvinteko sisältää monta työvaihetta, on kyseessä silti yhtenäinen prosessi. (Laakso & Rintamäki 2003, 33–34.)



KUVIO 3. Aaltopahvikoneen rakenne (Laakso & Rintamäki 2003, 33)

Märkäpää (A)

1. Rullapukki
2. Rullanvaihtaja
3. Pintakartongin esilämmitin
4. Aallotuskartonginesilämmitin
5. Aallottaja
6. Ylösvetokuljetin
7. Silta
8. Esilämmittimet
9. Liimausyksikkö

Kuivapää (B)

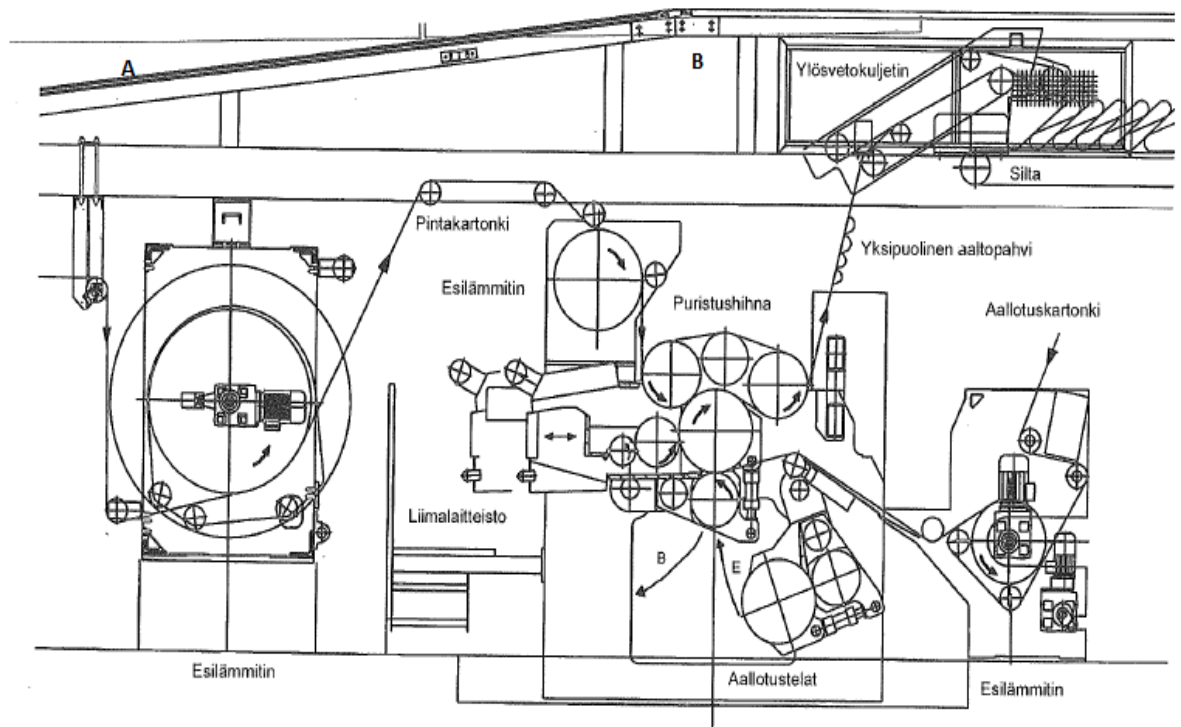
10. Arina
11. Tilauksenvaihtoleikkuri
12. Pituusleikkuri
13. Poikkileikkuri

4.2 Aaltopahvin valmistusprosessi

Aaltopahvin valmistus alkaa aallottajalta, jossa aallotuskartonki aukirullataan rullapukilta esilämmityssylinterille, minkä jälkeen se kostutetaan höyryllä. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään pehmentämään kuiturakennetta, jolloin aallottaminen helpottuu. (Laakso & Rintamäki 2003, 34, 40–41.)

Esilämmityksen ja höyrytyksen jälkeen alkaa varsinainen aallottaminen.

Aallotuskartonki ohjataan höyrylämmitteisten aallotustelojen läpi, jossa se saa puristamalla aaltomaisen muodon. Tämän jälkeen aallotettu kartonki kulkee liimatelan läpi, jossa aallonharjoille levittyy liima. Samaan aikaan aallottajan toiselta puolelta ohjataan pintakartonki esilämmittimen kautta puristustelalle, jossa kartongit kohtaavat ja puristuvat yhteen. Kohtaavien kartonkien lämpötilan täytyy olla riittävän suuri, jotta liima gelatinoituu ja muodostaa riittävän lujan sauman. Näin syntyy yksipuolinen aaltopahvirata. Kuviossa 4 on esitetty aallottajan rakenne. (Laakso & Rintamäki 2003, 38, 41–43.)



KUVIO 4. Aallottajan rakenne (Laakso & Rintamäki 2003, 44)

Aallotusyksiköllä valmistettu yksipuolinen aaltopahvirata nostetaan ylösvetokuljettimen avulla sillalle, josta se kulkee esilämmittimien kautta liimausyksikölle. Liimausyksiköllä yksipuolinen aaltopahvirata johdetaan liimatelan läpi, jossa liimaamattomille aallonharjoille levittyy liima. (Laakso & Rintamäki 2003, 45–46.)

Liimanlevityksen jälkeen yksipuolinen aaltopahvirata ohjataan arinalle. Arinalla tapahtuu yksipuolisen aaltopahvin ja erilliseltä rullapukilta tulevan pintakartongin yhteen liimaus, jotta saadaan muodostettua kaksipuolinen aaltopahvi.

Käytännössä arina koostuu lämpölevyistä ja vetohuovasta. Lämpölevyjen avulla pahviin saadaan lisälämpöä, jolloin liimasaumasta saadaan luja. Samalla se poistaa myös ylimääräistä kosteutta. Vetohuopa taas vetää aaltopahviradan arinan läpi. Sen päällä sijaitsevilla teloilla saadaan aikaan puristus lämpölevyjä vasten. (Laakso & Rintamäki 2003, 47.)

Arinalta aaltopahvirata siirtyy pituus- ja poikkileikkurin kautta vastaanottoon. Pituusleikkuri leikkaa aaltopahviradan ajosuunnassa halutun levyisiksi radoiksi, minkä jälkeen poikkileikkuri leikkaa ajosuunnassa pituussuuntaiseen määramittaan. Näin valmiit arkit siirtyvät vastaanottolaitteeseen. Vastaanottolaitteessa arkit pinotaan kuljettimelle, joka siirtää ne välivarastoon mahdollista jatkojalostusta varten. (Laakso & Rintamäki 2003, 49, 51–52.)

5 AALTOPAHVIN KÄYRYYS

5.1 Käyryydestä aiheutuvat ongelmat

Aaltopahvin laatuun liittyvät vaatimukset ovat korostuneet pakkausautomaation yleistyessä, sillä nykypäivänä aaltopahviaihioita kokoava ja pakkaava kone on yleensä sijoitettu heti tuotantolinjan jälkeen. Jotta tuotanto olisi nopeaa ja sujuvaa, pakkauskoneen täytyy toimia häiriöttä. Enimmäkseen häiriöitä aiheuttaakin aaltopahvin käyryys. Aaltopahvitehtaan jalostuskoneilla käyryys on aina ollut ongelma, mutta sen merkitys on entisestään korostunut automaattisten syöttö- ja vastaanottolaitteiden yleistyessä. Käyrällä pahvilla onkin suora yhteys reklamaatioiden ja hyllyn määrään. Samalla sen lujuusominaisuudet heikkenevät huomattavasti (Lampainen 1992, 17–18.)

5.2 Käyryyden mittaus ja määrittely

USA:n aaltopahvivalmistajien kehitysryhmä CDI määrittelee aaltopahvin käyräksi, jos sen käyryysvakio W . F on suurempi kuin 0,25 tuumaa 24 tuuman pituisella matkalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käyryysvakio saadaan, kun asetetaan aaltopahvi tasopintaa vasten ja mitataan tasopinnan ja aaltopahvin käyryyden aiheuttaman poikkeaman välinen etäisyys tuumissa esitettynä. Metrisellä mittajärjestelmällä tämä on noin 6 mm 600 mm:n pituisella matkalla. (Lampainen 1992, 22–23.)

Toinen tapa määritellä aaltopahvin käyryys on ilmaista se pinnan kaarevuussäteen avulla. Kaarevuussäteen käänteislukua kutsutaan käyryysvakioksi ja se saadaan seuraavasta kaavasta (Lampainen 1992, 22):

$$W = 1/R = 8 \cdot U/L^2$$

Mikäli käyryysvakio on negatiivinen, käyristyy aaltopahvi alaspäin ja mikäli positiivinen, niin ylöspäin (Lampainen 1992, 22).

5.3 Aaltopahvin käyritymistavat

Yleensä aaltopahvi käyristyy ajo- tai poikkisuunnassa, mutta myös mahdollisesti samanaikaisesti molemmissa, jolloin sitä kutsutaan diagonaaliseksi käyryydeksi. Muodoltaan käyryys voi olla ylöspäin, alaspäin tai sekä ylös- että alaspäin, jota kutsutaan tutummin S-käyryydeksi. Aaltopahvin käyrityminen johtuu yleisesti rakenneosien epäyhdenmukaisista mittamuutoksista. Ajosuunnassa voimien epätasaisuudet vaikuttavat pahvin käyryyteen. Kun yläpintakartongin vetojännitys on suurempi kuin alapintakartongin, pahvi käyristyy ajosuunnassa ylöspäin, ja vastaavasti alapintakartongin vetojännityksen ollessa suurempi, se käyristyy alaspäin. Mikäli vetojännitykset vaihtelevat kartonkien välillä, syntyy epäsymmetrinen diagonaalinen käyryys. (Nikkel & Stevenson 1979, 10 -11.)

Poikkisuuntaiseen käyryyteen vaikuttavat valmistuksen aikana syntyvät kosteuserot, erityisesti kartonkien välillä. Kun aaltopahvi saapuu arinalta, sen yläpintakartonki pyrkii tasoittamaan kosteutensa ympäröivän ilman kosteuseron kanssa, jolloin yläpintakartongin kosteuspitoisuus laskee ja kutistaa aaltopahvin, kun taas alapintakartongin kosteuspitoisuus kasvaa aiheuttaen sen laajenemisen. Tällöin laajenemisesta syntyneet voimat pyrkivät vetämään aaltopahvin reunoja alaspäin. Vastaavasti jos alapintakartongin kosteuspitoisuus laskee ja yläpintakartongin kosteuspitoisuus kasvaa, pyrkii laajenemisesta syntyvät voimat vetämään reunoja ylöspäin. Mikäli kosteuseroja syntyy molemmin puolin, tuloksena on S-käyryys. Kosteudella onkin suuri vaikutus aaltopahvin käyryyteen. (Nikkel & Stevenson 1979, 10.)

5.4 Jälkikäyrityminen

Vaikka aaltopahvi olisi suoraa vastaanotosta tullessa, saattaa se varastoinnin ja kuljetuksen aikana käyristyä. Varsinkin varastointiolosuhteiden lämpötila ja kosteus muutokset poikkeavat valmistuksen aikana vallinneista olosuhteista. Jotta pahvi olisi suoraa, täytyy kosteusolojen muuttumisesta aiheutuvien voimien kumota jatkuvasti toinen toisensa. Mikäli taas yksi tai useampi voima muuttuu muiden jo lakattua vaikuttamasta, aaltopahvi käyristyy. Tätä ominaisuutta kutsutaan jälkikäyritymiseksi. Liian kosteat alapintakartongit vaikuttavat jälkikäyryyden syntyyn. Toinen jälkikäyritymiseen vaikuttava tekijä on arkkien

pinoamistapa, sillä pinon alimmaiseta arkit käyttäytyvät eri tavalla kuin ylimmäiset, mikä johtuu painosta tulevasta puristuksesta. (Nikkel & Stevenson 1979, 13.)

5.5 Kosteus

Kosteus on käyritymisen pääasiallinen aiheuttaja. Mitä suurempi kosteusero on kartonkien välillä, sitä suurempi on aaltopahvin käyritymispyrkimys.

Poikkisuunnassa tapahtuu enemmän voimiin vaikuttavia epätasaisuuksia kuin ajosuunnassa, minkä vuoksi käyritymistä tapahtuu enemmän. Yhden prosentin muutos kosteudessa aiheuttaa 0,06 - 0,10 %:n mittamuutoksen

poikittaissuunnassa. Kartongin kosteuspitoisuus voi muuttua jopa 15 - 20 % valmistusprosessin aikana, mikä aiheuttaa 0,9 - 2,0 %:n mittamuutoksen, joka vaikuttaa huomattavasti käyryyden syntymiseen. (Nikkel & Stevenson 1979, 10.)

Kartonkien väliseen kosteuseroon vaikuttavat yleisesti seuraavat asiat (Lampainen 1992, 29–30):

- pintakartonkirullien lähtökosteus
- pintakartonkien neliömassat
- muutokset ajonopeuksissa
- esilämmittimien kontaktikulmat
- sillalla oleva yksipuolisen aaltopahviradan määrä
- kartonkien imukyky
- tärkkelysliiman vedenpidätyskyky sekä gelatinoitumisnopeus
- kartonkirullien lämpötilat ja jarrutusvoimat
- vesihöyrynläpäisevyys arinan huovalla
- kitkaominaisuudet arinalla sijaitsevilla kuumalevyillä
- yhdenmukaisuus ohjausteloilla.

Yleisesti kosteus vaikuttaa lähes kaikkiin kartongin ominaisuuksiin, kuten vetojäykkyyteen, vetolujuuteen ja taivutusjäykkyyteen. Kosteuden muuttuessa kuidut muuttavat mittojaan, mikä vaikutuksesta kartonki käyristyy tai aaltoilee. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2000, 80.)

6 KARTONGIN KOSTEUDEN MITTAUS

6.1 Yleistä

Aaltopahvin valmistusprosessissa pintakartonkien kosteuden jakautumisella on oleellinen merkitys. Varastoinnin ja kuljetuksen aikana muuttuvat olosuhteet vaikuttavat nopeasti rullan pintakerrokseen, jolloin rullasta otettujen näytteiden tulokset eivät kuvaa todellista kartongin kosteutta. Joskus rullan päätyihin saattaa myös tiivistyä kosteutta, mikä aiheutuu lämpötilaeroista. (Laakso & Rintamäki 2003, 127.)

6.2 Kosteuden mittaamenetelmiä

Tänä päivänä kartongin kosteuden mittaamiseen on useampi keino. Rullasta otetusta näytteestä voidaan määrittää kosteusprofiili uunikuivauksella laboratoriossa. Toinen keino näytteiden mittaamiseen on lämpövastuksella varustettu vaaka. Ensiksi kostea näyte punnitaan, jonka jälkeen se kuivataan vaa'assa ja punnitaan kuivapaino. Menetelmä on nopea ja sillä pystytään määrittämään aaltopahvinäytteen kosteus. (Laakso & Rintamäki 2003, 127 - 128.)

Kuitenkin nopein tapa mitata kosteusprofiili on käyttää kosteusmittaria, jonka toiminta perustuu kartongin elektrisyysvakion muutokseen kosteuden funktiona. Yleisesti mittarit ovat edullisia, helppoja käyttää ja niillä pystytään ottamaan näyte pyörivästä rullasta. Mittarin pystytään myös kalibroimaan kullekin kartonkilajille erikseen. (Laakso & Rintamäki 2003, 128.)

Markkinoilla on myös kalliimpia ja tarkempia laitteita, joiden mittauseriaate perustuu infrapunavalon käyttöön ja ne voidaan asentaa kiinteästi aaltopahvikoneelle. Vielä tästäkin kehittyneempi mittaustekniikka on mikroaaltomittaukseen perustuva laite. (Laakso & Rintamäki 2003, 128.)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tärkeimpänä tavoitteena oli käyttöönottaa Visilab Ak30 -kosteusmittari ja suorittaa sille luotettava kalibrointi Stora Enso Packaging Heinolan-tehtaalla, jotta mittarin avulla pystyttäisiin parantamaan käyryyden hallintaa aaltopahvikoneella heti valmistusprosessin alkuvaiheessa. Opinnäytetyö kuului osaksi isompaa tutkimusta, jonka tarkoituksena oli saada käyryydestä johtuvat asiakasreklamaatiot vähenemään Heinolan- ja Lahden-tehtailla. Samalla tarkoitus oli kerätä lisätietoa ja tuntemusta eri kartonkiraaka-aineista, jotta tulevaisuudessa pystyttäisiin vaikuttamaan aaltopahvin laatuun oikeilla konesäädöillä heti sen valmistusvaiheessa. Käyrä aaltopahvi aiheuttaa ongelmia ja häiriöitä pakkauslinjastoilla. Tästä johtuvilla asiakasreklamaatioilla on suora yhteys asiakastytyväisyyteen. Samalla ne aiheuttavat merkittävän määrän kustannuksia vuosittain.

Kartonkinäytteiden ottaminen sujui hyvin yhteistyössä aaltopahvikoneen työntekijöiden kanssa. Työkokemukseni tuotannonsuunnittelusta oli suureksi avuksi, sillä tiesin mitä, kartonkia käytetään missäkin aaltopahvilaadussa. Lisäksi työkokemukseni aaltopahvin valmistusprosessissa antoi hyvän pohjan työlleni.

Heinolan-tehtaalle oli myös hankittu ilmastointikaappi, jonka avulla näytteet saatiin stabiloitua huolellisesti ja nopeasti. Vaikka laboratorion ilma oli valmiiksi hyvin kostea, olisi näytteiden stabiloitumisessa mennyt vähintään vuorokausi ilman kaappia.

Mittarin kalibrointia ja siinä käytetyn kartongin valintaa voitiin pitää varsin onnistuneena. Jokaisen näytteen kosteusero pysyi sovitussa raja-arvossa, eikä sen takia tarvinnut suorittaa millekään kartonkilaadulle omaa kalibrointia.

Täydellisessä kalibroinnissa joka kartonkilaadulle olisi suoritettu oma kalibrointi ja tallennettu kosteusmittariin. Tämä olisi vienyt niin paljon aikaa, että sen suorittamiseen aika ei olisi riittänyt. Lisäksi yhden yleispätevän kalibroinnin käyttäminen nopeuttaa ja helpottaa kosteusarvon mittaamista pyörivästä rullasta aaltopahvikoneella, koska ei tarvitse selata kaikkia kalibrointitaulukoita läpi oikean etsimiseen oikealle kartonkirullalle.

Mittaustuloksia voidaan pitää myös luotettavina. Tulosten analysointiin ja kokonaiskyvykkyyden mittaamiseen käytettiin Minitab-laatutekniikan ohjelmaa. Ohjelmalla saadut tulokset tukivat kalibroinnin onnistumista. Vaikka tulokset olivatkin luotettavia, on niissä silti saattanut olla hieman vääristymiä. Tämä johtuu siitä, että uunikuivausvaiheessa näyte on saattanut jäädä hieman kosteaksi tai uunikuivauksen jälkeen näyte on kerinnyt keräämään kosteutta ympäröivästä ilmasta ennen painon mittausta. Kuitenkin mittauksessa tapahtuneet mahdolliset virheet ovat olleen niin pieniä, että ne eivät vaikuttaneet työn onnistumiseen.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyöprosessi sujui suunnitellusti ja työstä oli hyötyä Stora Enso Packagingille tulevaisuudessa. Vaikka kosteusmittarin käyttöönotto aaltopahvikoneella ei ratkaisekaan aaltopahvin käyrysongelmia kokonaan, voidaan sillä vähentää käyrän aaltopahvin valmistusta ja näin tuottaa laadukkaampaa aaltopahvia asiakkaille.

LÄHTEET

Laakso, O & Rintamäki, T. 2003. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. Jyväskylä: Gummerus.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2000. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerus

Fefco. 2013. Production process [viitattu 15.10.2013]. Saatavissa: <http://www.fefco.org/corrugated-packaging/production-process-corrugated>

Stora Enso. 2013. Stora Enso In Brief [viitattu 25.10.2013]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/about/stora-enso-in-brief>

Suomen Aaltopahviihdistys ry. 2013 a. Aaltopahvi [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://aaltopahvi.fi/aaltopahvi/>

Suomen Aaltopahviihdistys ry. 2013 b. Käyttäjän käsikirja [viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: <http://aaltopahvi.fi/aaltopahvi/kasikirja/>

Stora Enso Packaging. 2013. Powerpoint-esitys [viitattu 25.10.2013]

Lampainen, S. 1992. Lainerikartongin kuituorientaation ja vetojäykkyyden vaikutuksista aaltopahvin käyristykseen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Nikkel, W. & Stevenson, J. 1979. Esite 15.9.2013

LIITTEET

LIITE 1. Reklamaatiot Heinolan tehtaalla

LIITE 2. Eniten käyryyttä aiheuttavat reseptit

LIITE 3. Kalibroinnin tulokset

LIITE 4. Muiden kartonkien tulokset

LIITE 5. Kalibroinnin tulosten lineaarinen riippuvuus

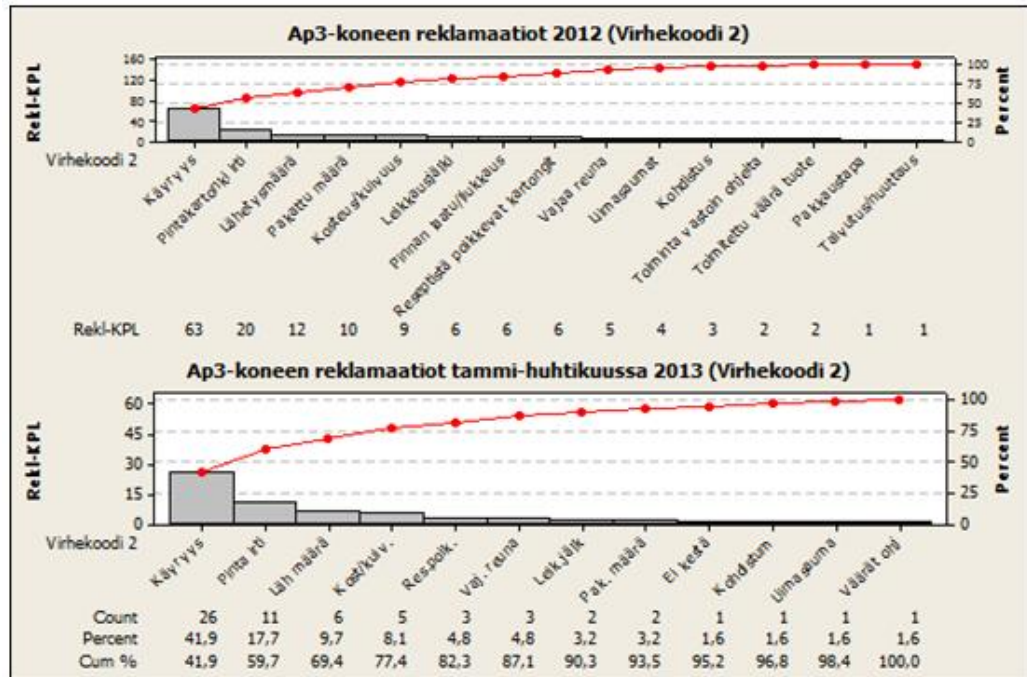
LIITE 6. Kalibroinnin teho, jakautuminen ja luottamusväli

LIITE 7. Tulosten lineaarinen riippuvuus

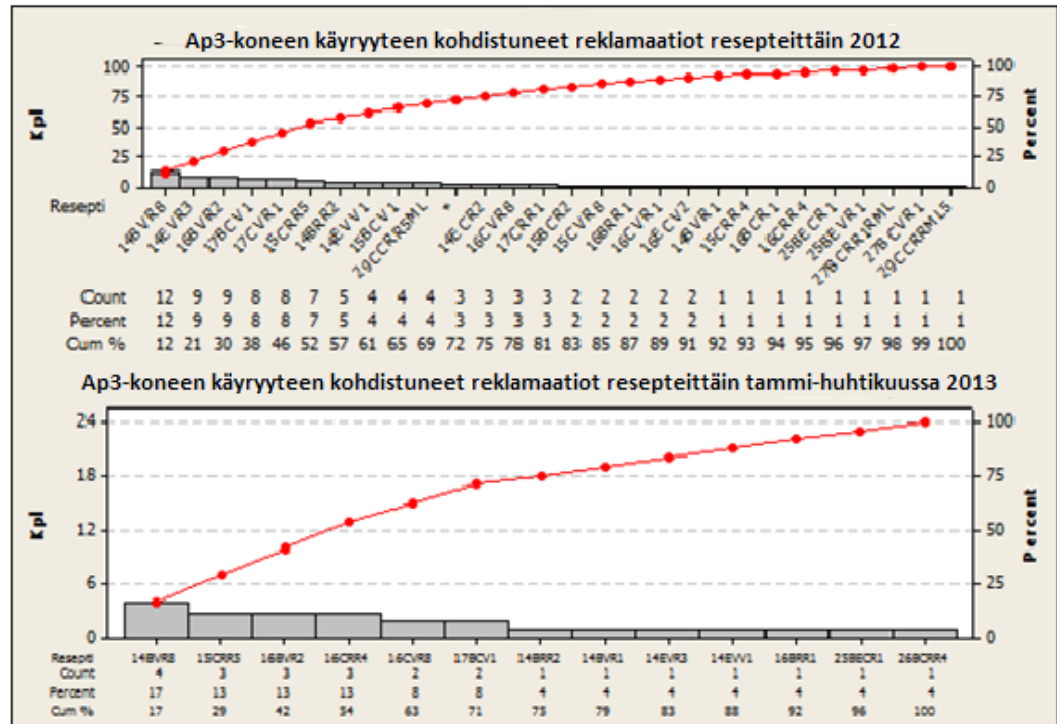
LIITE 8. Kokonaisteho ja jakautuminen

LIITE 9. Kokonaisluottamusväli

LIITE 1. Reklamaatiot Heinolan tehtaalla



LIITE 2. Eniten käyryyttä aiheuttavat reseptit



LIITE 3. Kalibroinnin tulokset

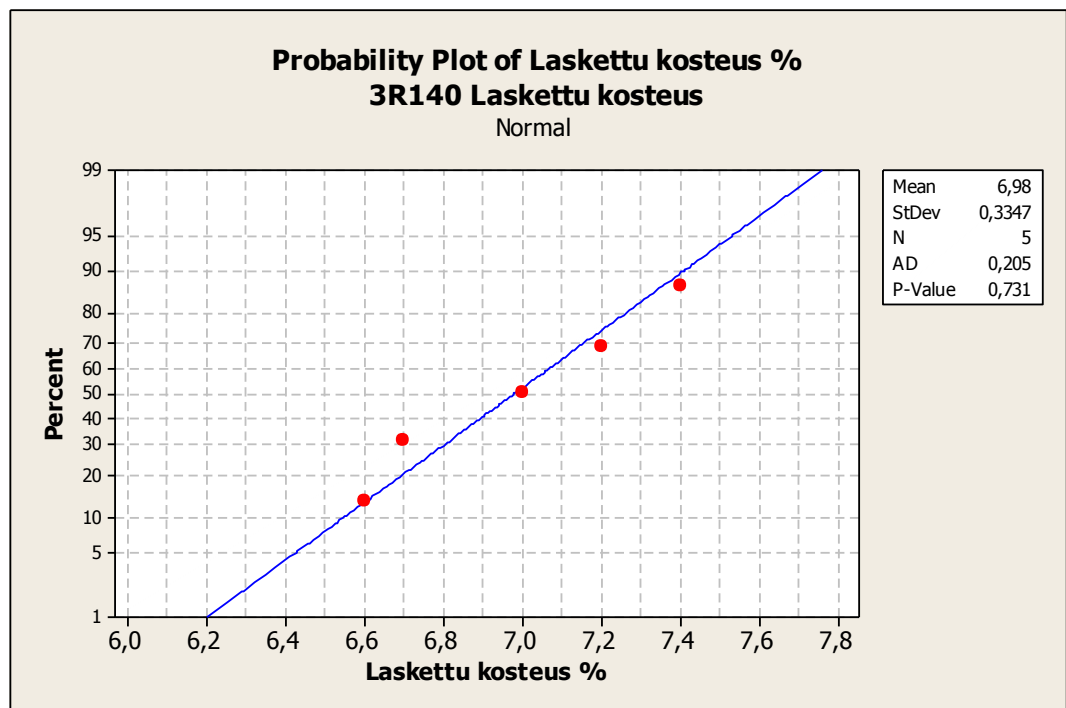
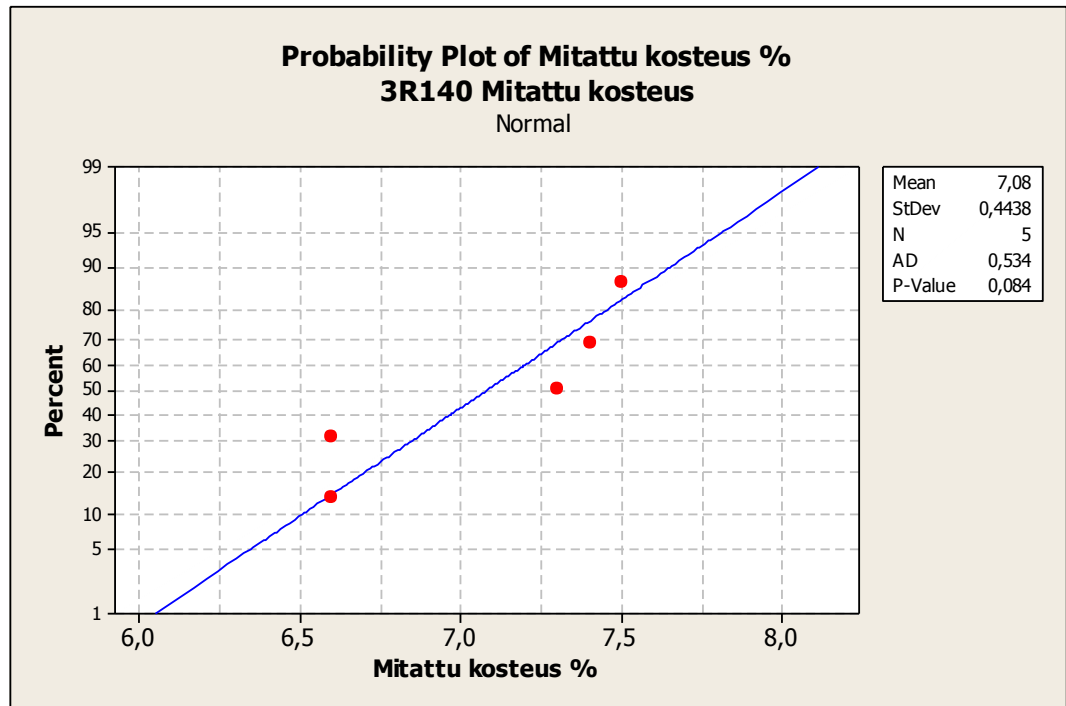
Näyte	Kartonki	Paino g/m ²	Näytteen paino (g)	Mitattu kosteus %	Kuivapaino (g)	Laskettu kosteus %	Erotus %
1	3R	140	14,03	6,6	13,09	6,7	0,1
2	3R	140	15,39	6,6	14,3	7	0,4
3	3R	140	15,75	7,5	14,85	7,4	0,1
4	3R	140	11,49	7,3	10,76	6,3	1
5	3R	140	11,88	7,4	11,1	6,6	0,8

LIITE 4. Muiden näytteiden tulokset

Kartonki	Paino g/m2	Näytteen paino (g)	Mitattu kosteus %	Kuivapaino (g)	Laskettu kosteus %	Erotus %
EF	127	14,34	10,1	12,9	10	0,1
EF	127	15,35	10	13,9	9,5	0,5
EF	127	13,37	10,1	12,1	9,4	0,7
EF	127	13,38	8,9	12,26	8,4	0,5
EF	127	12,83	8,8	11,77	8,3	0,5
3R	110	11,41	7,6	10,55	7,5	0,1
3R	110	10,84	8,2	9,94	8,3	0,1
3R	110	10,25	8,3	9,49	7,4	0,9
3R	110	12,85	8,2	11,87	7,6	0,6
3R	110	11,78	8,4	10,88	7,6	0,8
3R	140	14,03	6,6	13,09	6,7	0,1
3R	140	15,39	6,6	14,3	7	0,4
3R	140	15,75	7,5	14,85	7,4	0,1
3R	140	11,49	7,3	10,76	6,3	1
3R	140	11,88	7,4	11,1	6,6	0,8
2R	165	16,11	8,1	14,84	7,9	0,2
2R	165	14,06	8,1	13,04	7,3	0,8
2R	165	12,13	8,4	11,18	7,9	0,5
2R	165	13,58,	8,2	12,5	8	0,2
2R	165	14,3	8,2	3,22	7,6	0,6
2R	200	17,88	7,6	16,63	7	0,6
2R	200	18,53	7,7	17,2	7,2	0,5
2R	200	15,58	7,8	14,48	7,2	0,6
2R	200	17,14	7,3	16	6,7	0,6
2R	200	14,6	7,4	13,64	6,6	0,8
KR	125	11,47	8,1	10,61	7,5	0,6
KR	125	12,53	8	11,58	7,6	0,4
KR	125	14,28	8,1	13,15	7,9	0,2
KR	125	13,57	8	12,56	7,4	0,6
KR	125	12,65	8,2	11,7	7,5	0,7
KR	170	15,64	7,5	14,49	7,4	0,1
KR	170	15,46	7,7	14,31	7,4	0,3
KR	170	15,65	7,7	14,46	7,6	0,1
KR	170	15,53	7,4	14,42	7,1	0,3
KR	170	13,54	7,4	12,6	6,9	0,5
KC	130	12,2	5,7	11,43	6,3	0,6
KC	130	10,84	5,7	10,25	5,4	0,3
KC	130	12,1	5,7	11,44	5,5	0,2
KC	130	10,74	5,8	10,15	5,5	0,3

KC	130	10,33	5,7	9,68	6,3	0,6
KC	180	15,16	5,8	14,14	6,7	0,9
KC	180	17,48	5,9	16,41	6,1	0,2
KC	180	13,43	5,9	12,53	6,7	0,8
KC	180	14,1	5,9	13,21	6,3	0,4
KC	180	15,66	5,8	14,69	6,2	0,4
KV	135	11,39	5,8	10,77	5,4	0,4
KV	135	14,34	6,5	13,38	6,7	0,2
KV	135	10,86	6,5	10,12	6,8	0,3
KV	135	13,37	5,9	2,59	5,8	0,1
KV	135	10,74	6	10,09	6,1	0,1
KV	175	20,22	7,4	18,74	7,3	0,1
KV	175	16,05	7,4	14,86	7,4	0
KV	175	19,86	7	18,47	6,9	0,1
KV	175	16,23	7,1	15,11	6,9	0,2
KV	175	14,33	7,3	13,3	7,2	0,1
Medialiner	135	13,97	6,3	13,09	6,3	0
Medialiner	135	11,6	6	10,93	5,8	0,2
Medialiner	135	11,35	6,2	10,64	6,3	0,1
Medialiner	135	12,89	6,2	12,14	5,8	0,4
Medialiner	135	14,09	6,2	13,2	6,3	0,1
Medialiner	160	17,72	5,8	16,69	5,5	0,3
Medialiner	160	10,42	5,9	9,87	5,3	0,6
Medialiner	160	12,63	5,9	11,89	5,9	0
Medialiner	160	14,43	5,7	13,59	5,8	0,1
Medialiner	160	11,56	5,6	10,91	5,6	0
2V	140	14,47	6,1	13,98	5,1	1
2V	140	13,56	6,1	12,82	5,5	0,6
2V	140	13,76	6,2	12,93	6	0,2
2V	140	13,14	6,1	12,46	5,2	0,9
2V	140	13,12	6,2	12,42	5,3	0,9

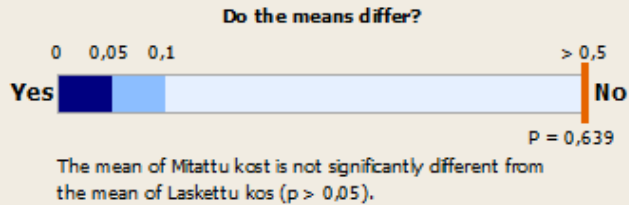
LIITE 5. Kalibroinnin tulosten lineaarinen riippuvuus



Pearson correlation of Mitattu kosteus % and Laskettu kosteus % = 0,933
P-Value = 0,000

LIITE 6. Kalibroinnin teho, jakautuminen ja luottamusväli

Paired t Test for the Mean of Mitattu kost and Laskettu kos Summary Report

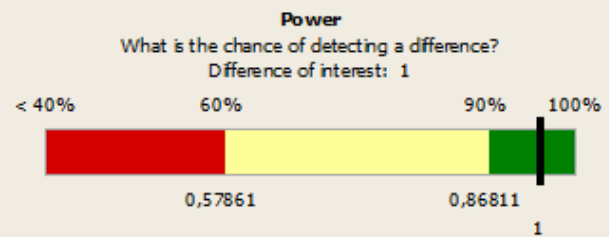
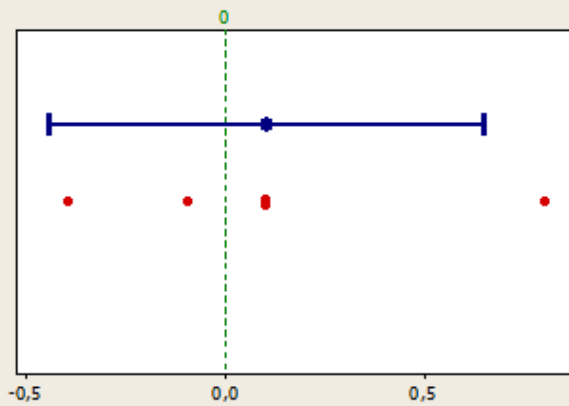


Statistics	Paired Differences *
Sample size	5
Mean	0,1
95% CI	(-0,44830; 0,64830)
Standard deviation	0,44159

* The difference is defined as Mitattu kost - Laskettu kos.

	Mitattu kost	Laskettu kos
Mean	7,08	6,98
Standard deviation	0,44385	0,33466

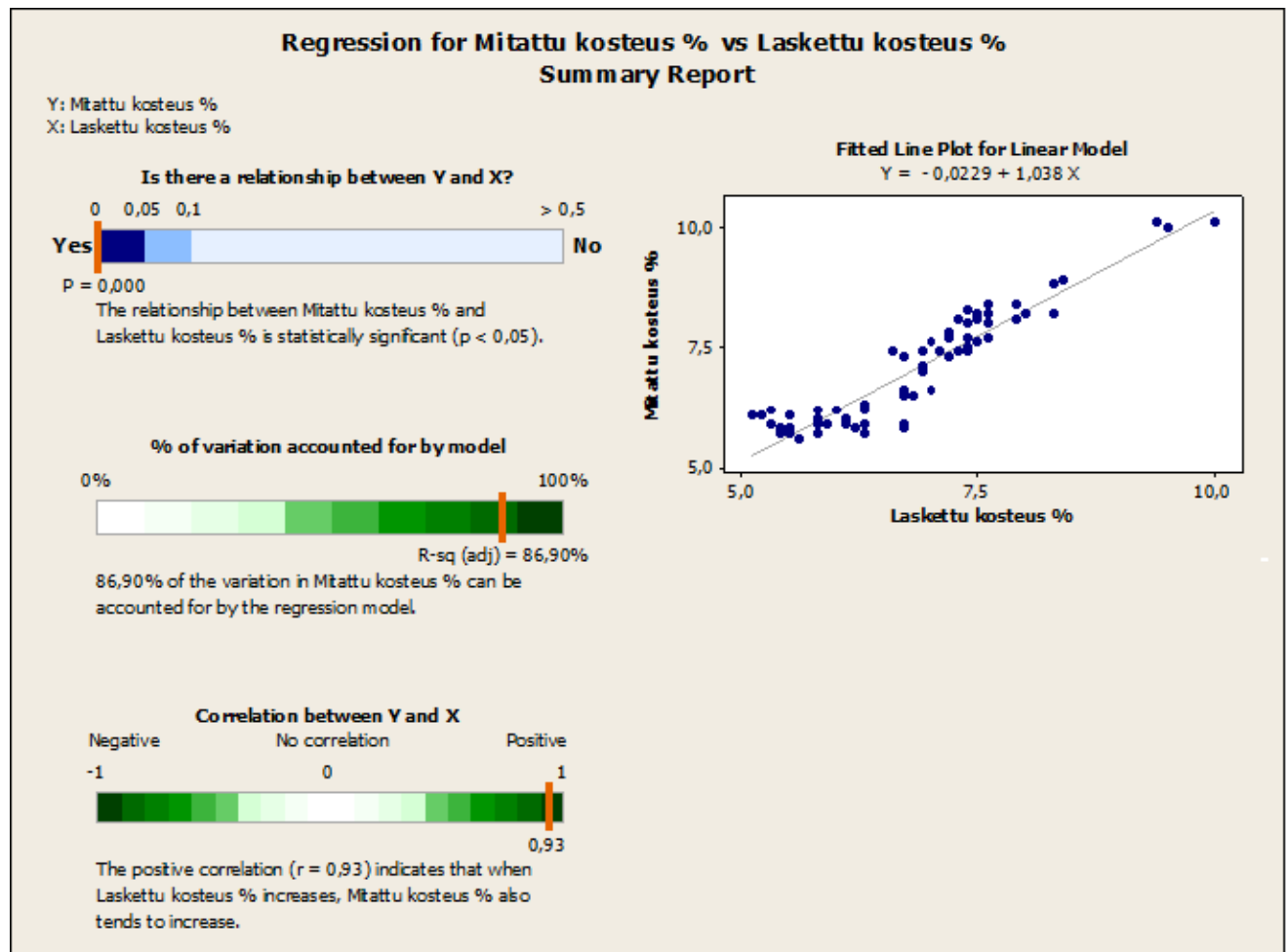
Distribution of the Differences
Where are the differences relative to zero?



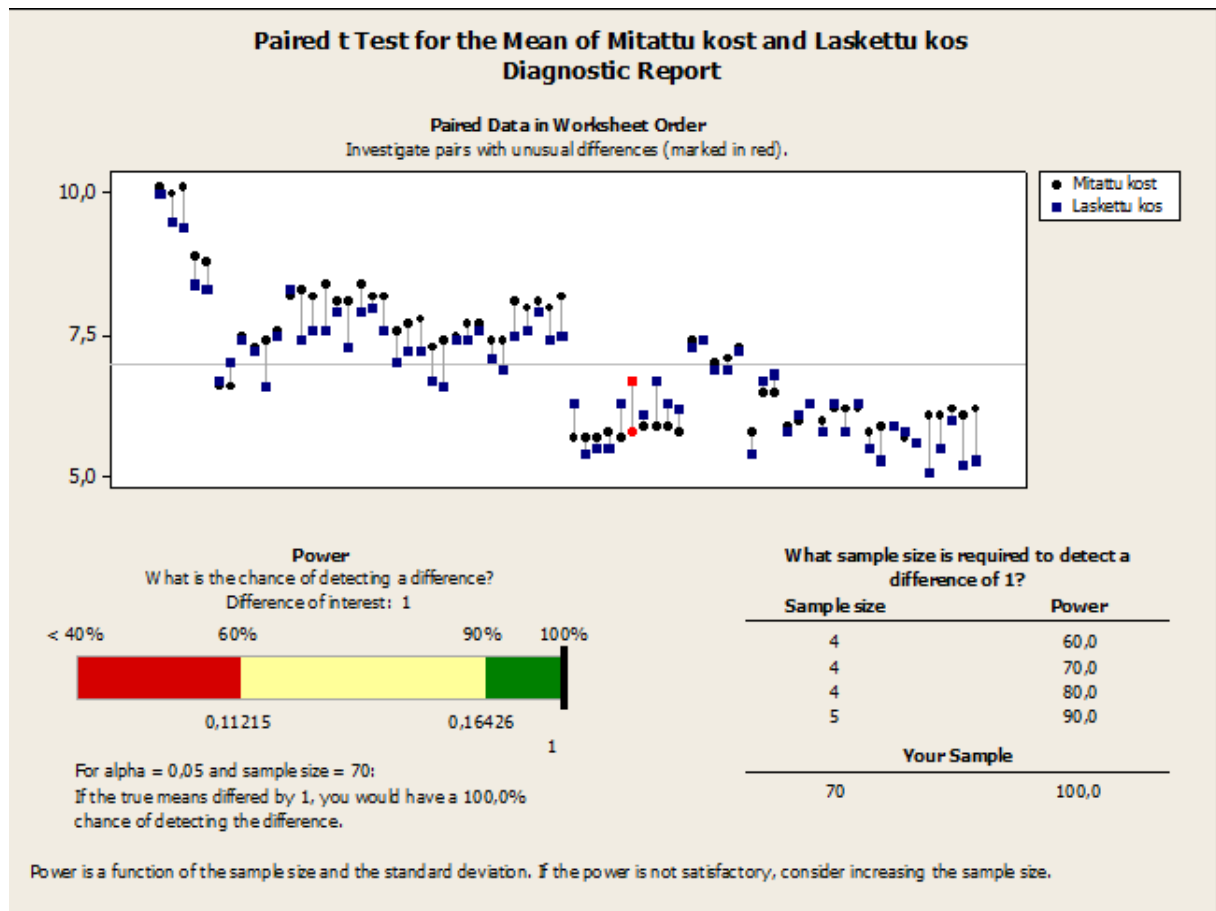
For alpha = 0,05 and sample size = 5:

If the true means differed by 1, you would have a 95,9% chance of detecting the difference.

LIITE 7. Tulosten lineaarinen riippuvuus



LIITE 8. Kokonaisteho ja jakautuminen



LIITE 9. Kokonaisluottamusväli

